

Научно- исследовательская работа

Физика

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА МАЙКЕЛЬСОНА НА БАЗЕ
ВАНАДАТНОГО ЛАЗЕРА С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ**

Выполнили:

Моисеев Артём Романович

Учащийся 11 класса

МАОУ СОШ № 2 имени Н. А. Тимофеева, Россия, г. Бронницы

Соколов Артём Николаевич

Учащийся 11 класса

МАОУ СОШ № 2 имени Н. А. Тимофеева, Россия, г. Бронницы

Чубова-Белошникова Мария Максимовна

Студент 1 курса

РТУ МИРЭА

Руководитель:

Соловьёва Наталья Сергеевна

Учитель физики и математики

МАОУ СОШ № 2 имени Н. А. Тимофеева, Россия, г. Бронницы

Вступление

Актуальность: использование лазеров в приборах интерферометрии и спектрометрии предъявляет высокие требования к степени пространственной и временной когерентности излучения. Вместе с тем анализ литературы показывает, что отсутствуют приборы измерения этих характеристик источников света. Поэтому весьма актуален вопрос разработки малогабаритных приборов прямого измерения когерентности источников света, в первую очередь лазеров. Промышленность не выпускает таких приборов. Доступные на рынке лазерные указки не обеспечивают стабильных параметров излучения, а одночастотные лазеры для научных исследований весьма дороги для образовательного учреждения.

Цель работы: проектировать и отъюстировать лазерный интерферометр Майкельсона с возможностью измерения видности интерференционной картины с помощью точечного фотодиода, либо ПЗС —камеры с последующей обработкой сигнала по компьютерной программе с выводом цифровой информации на экран ноутбука.

Задачи:

1. Собрать и исследовать в качестве источника света для интерферометра одночастотный лазер с диодной накачкой на ванадате и с удвоением частоты.
2. Проектировать и собрать лазерный интерферометр Майкельсона с возможностью измерения видностью интерференционной картины либо с помощью фотоэлектронного умножителя, либо ПЗС — камеры с последующей обработкой сигнала по компьютерной программе.

3. Измерить когерентность света нескольких лазеров и лазерных указок.

Основная часть

1. В рамках проекта нами собран и испытан одночастотный малогабаритный твердотельный лазер с диодной накачкой и удвоением частоты (рис.1) и на его базе — действующий макет лазерного интерферометра Майкельсона (рис.2).

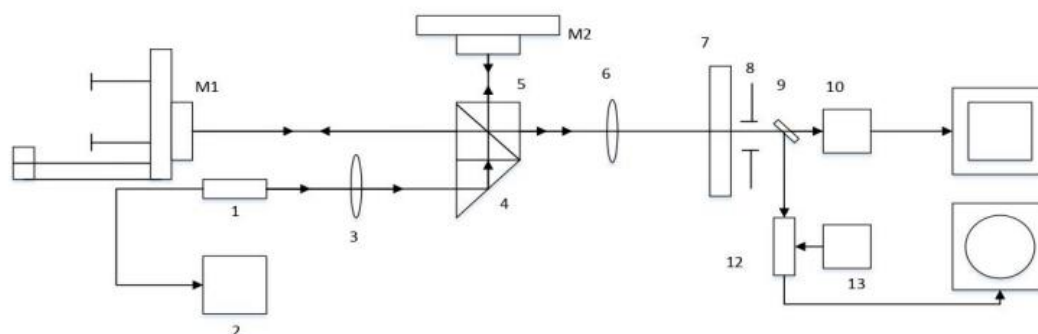


Рис.1 Схема интерферометра Майкельсона для измерения когерентности источников света.

1 - лазер одночастотный с диодной накачкой

(длина волны 532 нм, мощность 20 мВт)

2 - блок питания лазера на 5 У постоянного напряжения

3 - короткофокусная линза

4 - поворотная призма полного внутреннего отражения

5 - делитель пучка — призма — куб

6 - длиннофокусная линза с фокусным расстоянием 1 метр

7-экран

8 - диафрагма

9 - полупрозрачная пластина

10 — цифровая ПЗС - камера

11 - компьютер

12 — фотоэлектронный умножитель (ФЭУ)

13 — блок питания ФЭУ

M1 - подвижное зеркало с отчетным устройством

M2 - неподвижное зеркало плоское

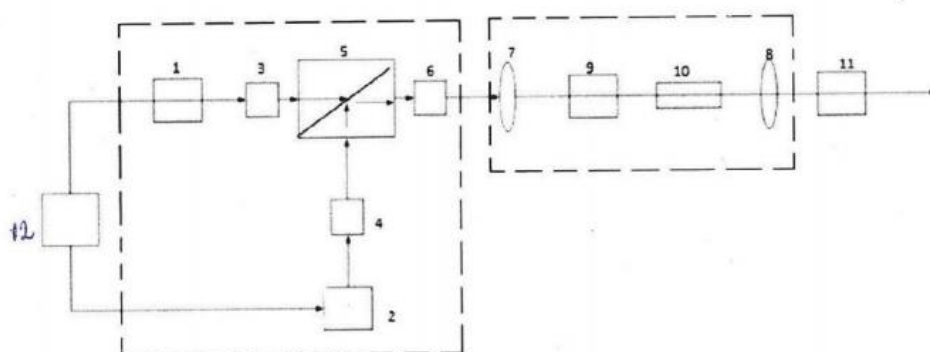


Рис.2 Функциональная схема лазерного излучателя с диодной накачкой.

1,2 — полупроводниковые лазерные диоды накачки

3,4 — конденсоры

5 — призма-куб для юстировки

6 - объектив

7,8 — зеркала резонатора

9 — кристаллы ванадата

10 — нелинейный удвоитель частоты

11 - телескоп

12 — стабилизированный источник питания 5В

Лазерные полупроводниковые диоды (1,2) (0,7-0,8 мкм) установлены в осветителе и при юстировке могут в небольших пределах перемещаться в

плоскости, перпендикулярной оптической оси, относительно конденсоров (3) и (4) (рис.1). Излучение обоих диодов с помощью призмы — куба (5) и объектива (6) фокусируется на кристалле ванадата (9) в медной оправке для отвода тепла. В качестве удвоителя частоты используется нелинейный кристалл ниобата лития LiNbO (10). Оптический резонатор образован двумя зеркалами (7) и (8). Зеркало (7) с коэффициентом отражения 0,99 для зеленой линии 532 нм, зеркало (8) - полупрозрачное (коэффициент пропускания 0,4-0,6). Для формирования требуемого диаметра пучка и его расходимости используется телескопическая система (11), состоящая из объектива и окуляра.

Лазерные диоды накачки (номинальный ток 2А) питаются постоянным стабилизированным напряжением 5V от источника (12).

В работе исследовались оптические характеристики лазера с применением ПЗС — камеры и компьютера, спектры излучения регистрировались на спектрофотометре с применением компьютерных технологий.

Спектр излучения и профиль пучка приведен на рис.2,3. Часть измерений проводилась на оборудовании ООО «Лазер — экспорт» и ООО «Научные развлечения», с которыми школа работает по договору о научно — техническом и методическом сотрудничестве.

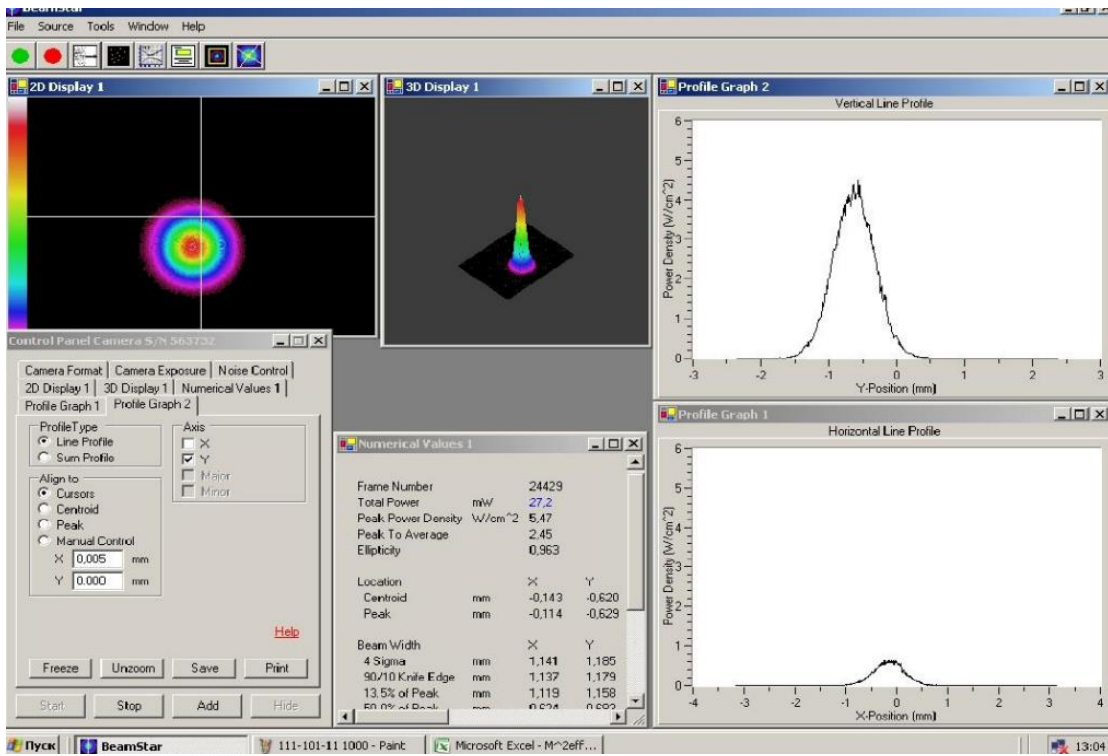


Рис. 3 Структура лазерного пучка на выходе, полученная с помощью ПЗС-камеры на экране компьютера.

Структура лазерного пучка на выходе излучателя приведена на рис.3, а в фокусе метровой линзы на рис.4, характерный спектр излучения приведен на рис.5.

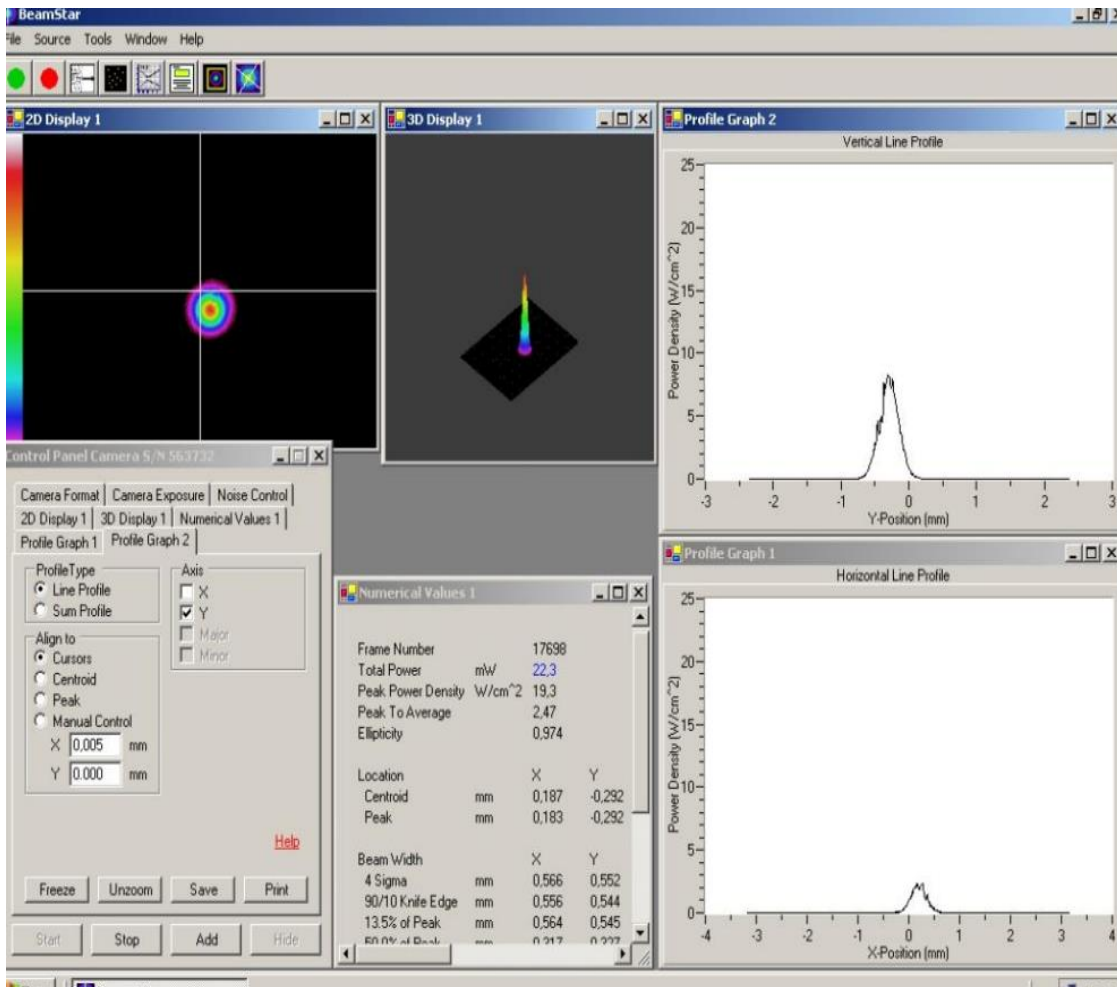


Рис. 4 Профиль лазерного пучка в фокусе метровой линзы.

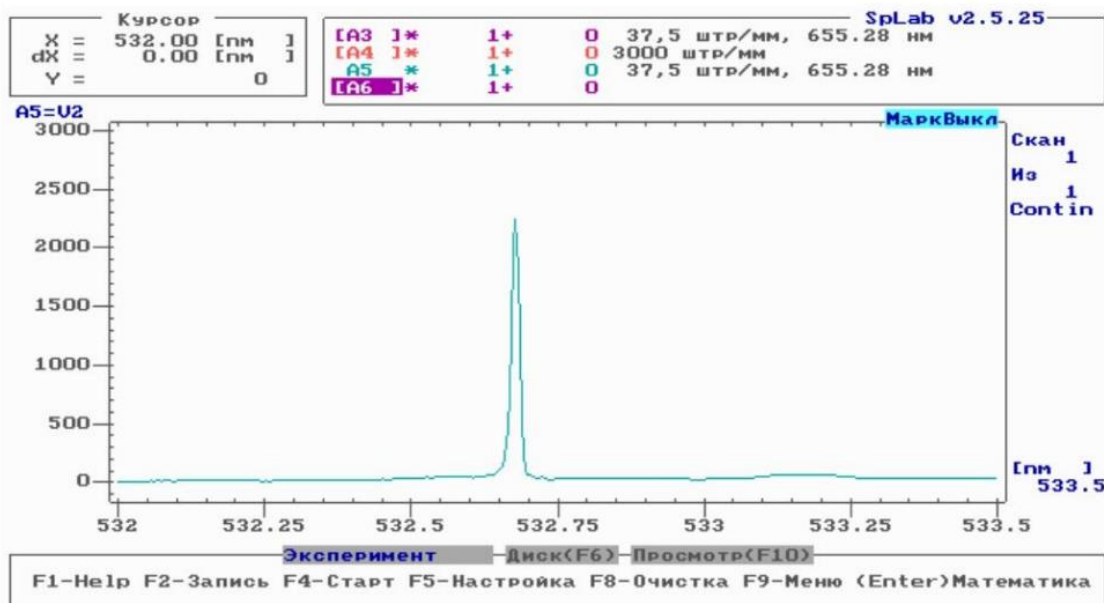


Рис. 5 Спектр излучения одночастотного лазера на ванадате с удвоением частоты.

Длина волны 532 нм.

Анализ структуры лазерного пучка показывает, что расходимость составляет по осям x и y соответственно 9,56 и 0,55 мРад. Диаметр пучка на выходе лазера 1,14 и 1,18 мм по тем же осям x и y. Спектр излучения демонстрирует, что лазер генерирует одну продольную моду, т.е. является одночастотным. Мощность лазера 22 мВт. Степень горизонтальной поляризации 300:1, эллиптичность 0,96, уровень амплитуды шумов 0,5%.

Функциональная схема интерферометра Майкельсона приведена на рис.2

2. Когерентный пучок света от лазера (1) призмой полного внутреннего отражения (4) направляется на расщепитель пучка призма — куб (5). Один пучок света проходит через призму в направлении пучка лазера, отражается от неподвижного плоского зеркала M2, возвращаясь в призму, отражается от нее и направляется на экран (7). Далее через отверстие в нем попадает либо на экран ПЗС — камеры, либо на фотоэлектронный умножитель для измерения интенсивности света в центре темной и светлой полос.

Другой пучок отражается от призмы и идет под прямым углом к первоначальному лучу лазера- к другому подвижному плоскому зеркалу M1, отражается от него, возвращаясь в призму, проходит ее и идет на экран. На экране накладываются две когерентные волны от одного и того же источника прошедшие разные оптические пути и интерферируют. Видность интерференционной картины $V(p)$.

$$V(P) = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = |\gamma_{P,\tau}|$$

I_{max} - максимальная интенсивность светлой полосы;

I_{min} – минимальная интенсивность тёмной полосы в окрестности точки P;

$|\gamma_{P,\tau}|$ – модуль степени временной когерентности.

3. Компьютерная обработка сигнала с ПЗС — камеры позволяет измерить видность интерференционной картины, а также время и длину когерентности L .

$L = C_0 \tau_{\text{ког}}$, где C_0 — скорость света в вакууме, $\tau_{\text{ког}}$ - время когерентности.

4. В работе получены интерференционные картины от когерентных и частично когерентных лазеров в различных условиях эксперимента.

В начале расстояние до зеркала $M1$ и $M2$ устанавливается одинаковым, наблюдаем четкую интерференционную картину с максимальной видностью. Затем сдвигаем подвижное зеркало $M1$ на 2 см, при этом разность хода изменяется на 4 см. Сдвигая зеркало несколько раз, производим измерения видности до исчезновения интерференционной картины, когда разность хода оказывается больше длины когерентности лазера.

Исследовалась когерентность различных лазеров, включая китайские лазерные указки. Наибольшая когерентность света наблюдалась в лазерах с эталоном Фабри — Перо, обеспечивающих одночастотный режим. Это исследованный нами одночастотный лазер с диодной накачкой с удвоением частоты. Длина когерентности более 3 м. Для газовых лазеров без эталона длина когерентности определяется длиной резонатора. Для использования нами He — Ne — лазера (длина резонатора 35 см) длина когерентности составила 11 см. Наименьшую длину когерентности имели китайские полупроводниковые лазеры и лазерные диоды в силу особого механизма генерации и относительно большой угловой расходимости пучка.

5. Степень временной когерентности и пространственной когерентности — важнейший параметр лазера с точки зрения его применения в интерферометрии и спектроскопии в решении многих прикладных задач оптической измерительной техники. Поэтому, полученные в работе результаты могут стать основой для разработки промышленного варианта оптического прибора для измерения когерентности источников света, что имеет важное научно — техническое и прикладное значение.

Заключение

Представляется целесообразным продолжение исследований в данном направлении с целью разработки компьютерных программ (анализа и расчета оптических изображений интерферограмм, получаемых с применением ПЗС — камеры, для автоматического измерения степени когерентности лазерных источников).

Список литературы

1. Звелто О. Принципы лазеров. Перевод с английского, М.: Мир, 1990, с.558
2. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Физматлит, 2010, с.846
3. Познер Б.И. Физические основы лазерной техники. Учебное пособие, ИНФРА -М, 2017
4. Русинов М.М. Техническая оптика, 2017, с.488
5. Рябухо ВП. Лякин ДВ. Эффекты продольной пространственной когерентности света в интерференционном эксперименте. Оптика и спектроскопия, 2005, т.48, В.2, с.309 — 320

6. Русинов М.М. Техническая оптика, 2017, с. 488